

# シンチレーションフィルムによる 表面汚染測定法の開発

21<sup>st</sup> Feb. 2017

ICEPP Symposium

東北大学RCNS

修士1年 澁川 友菜

# モチベーション

## ニュートリノはマヨラナ粒子？

ニュートリノと反ニュートリノが同じ粒子であれば  
衝突によって対消滅する

⇒ 二重ベータ崩壊核で確かめる

$$2\nu 2\beta: (Z, A) \rightarrow (Z + 2, A) + 2e^- + 2\bar{\nu}_e$$

$$0\nu 2\beta: (Z, A) \rightarrow (Z + 2, A) + 2e^-$$

が観測できれば

ニュートリノはマヨラナ粒子

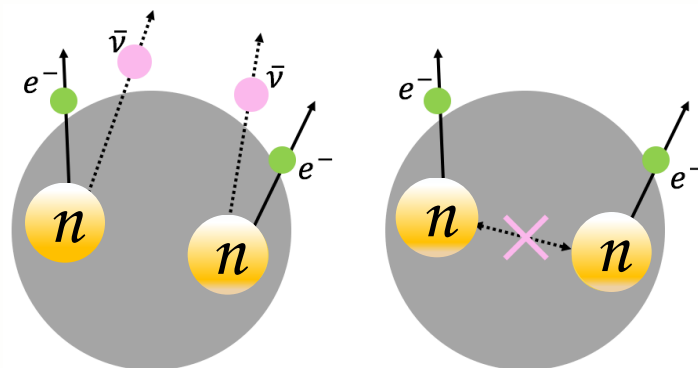
## ニュートリノを伴わない

## 二重ベータ崩壊 ( $0\nu 2\beta$ ) 観測の意義

物質優勢を説明するカギ

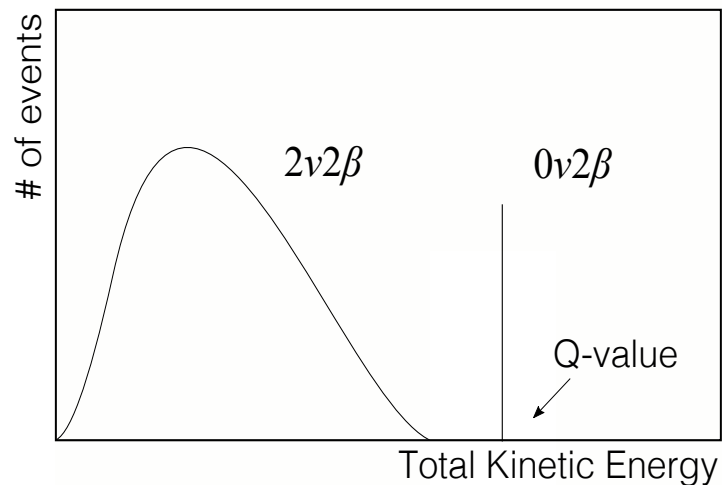
ニュートリノの有効質量

これを探るための実験として…

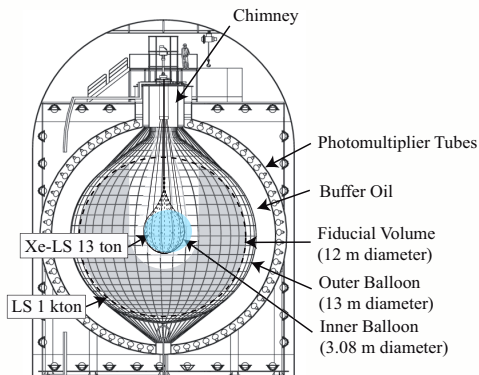


二重ベータ崩壊 ( $2\nu 2\beta$ )

ニュートリノを伴わない  
二重ベータ崩壊 ( $0\nu 2\beta$ )



# モチベーション

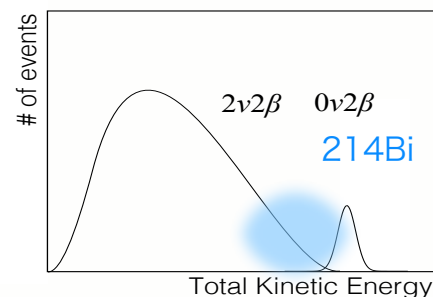


## KamLAND実験

ニュートリノがタンク内の液体シンチレータと反応してシンチレーション光が発生  
光電子増倍管で観測

## 二重ベータ崩壊探索(KamLAND-Zen)

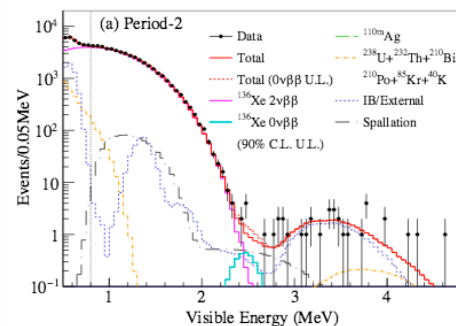
タンク内にミニバルーンの中に  
二重ベータ崩壊核である $^{136}\text{Xe}$ を溶かした液体シンチレータ



## ミニバルーンの表面汚染

製作・運搬時に付着した放射性不純物(U系列)

→Bi-Po遅延同時計測方法…**効率が低い**



表面汚染…検出器などの表面に起こる放射性汚染  
稀現象観測で感度を下げる原因の一つ

表面汚染を判定 → データベースの構築 → 除去技術の向上

宇宙の謎を解くために

Ex. ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊、暗黒物質  
を観測したい！

ただでさえ稀なのに様々な放射性汚染で  
バックグラウンドが多くて見つけるのが大変  
**極低放射能環境**が必要！

汚染を元々なくしたり（素材の選定、クリーンルーム作業）  
**除去技術を高める**ことで解決したい

高感度汚染測定法が求められている  
汚染のうちの一つ**表面汚染測定法の開発**

# 表面汚染 測定手法

## 表面汚染： $\alpha$ 線測定

ウラン系列の $^{214}\text{Bi}$ を除去したい  
→娘核である $^{214}\text{Po}$ の $\alpha$ 線

## シンチレーションフィルム

フィルム型シンチレータ $\sim 100\mu\text{m}$

- ✓ 光電子増倍管の量子効率ピークと発光波長がほぼ一致
- ✓ 発光強度も十分
- ✓ 薄さが $\alpha$ 線測定に適している

## シンチレータ

ラミネートフィルム

- ✓ シンチレーションフィルムに透明なフィルムをラミネートしたもの
- ✓ 片側にのみ感度を持たせることができる

シンチレーションフィルム  
プラスチックシンチレータ  
高純度PET

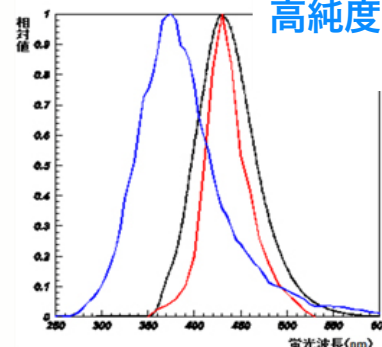


図3: 蛍光波長の評価

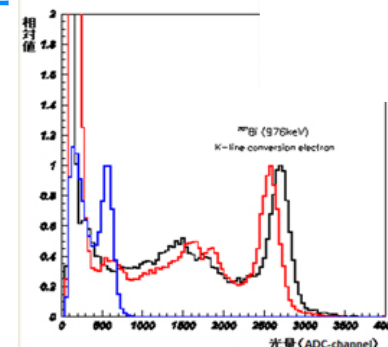


図4: 蛍光量の測定

## ラミネートフィルム

シンチレーションフィルム  $125\mu\text{m}$

透明フィルム 約 $100\mu\text{m}$

# フィルムを用いた測定方法

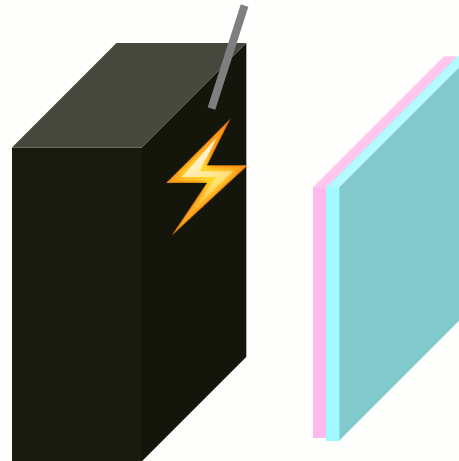
## ラミネートフィルム

シンチレーションフィルム

透明フィルム

片側(シンチレーションフィルム側)にのみ  
 $\alpha$ 線のみ感度を持つ

放射性汚染物質



対象物

ミニバルーン、検出器

# フィルムを用いた測定方法

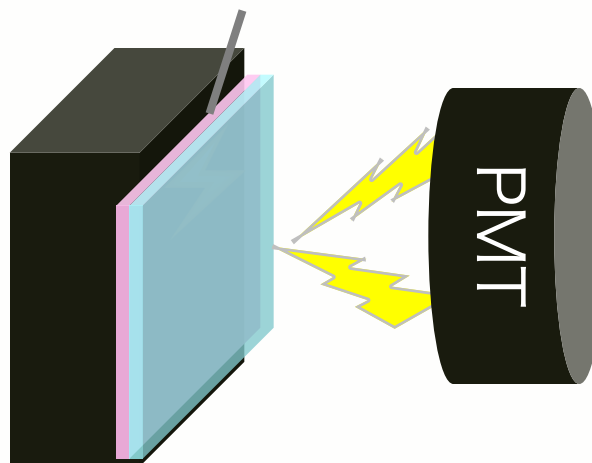
## ラミネートフィルム

シンチレーションフィルム

透明フィルム

片側(シンチレーションフィルム側)にのみ  
 $\alpha$ 線のための感度を持つ

放射性汚染物質



PMT…光電子増倍管

対象物

ミニバルーン、検出器

$\alpha$ 線源があるのかないのか  
→表面汚染がおきているのかないのかを判定

# フィルムを用いた測定方法

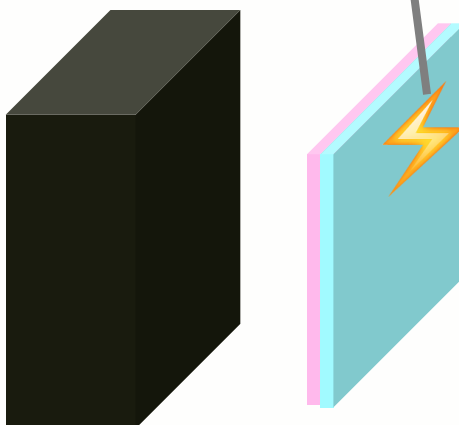
## ラミネートフィルム

シンチレーションフィルム

透明フィルム

片側(シンチレーションフィルム側)にのみ  
 $\alpha$ 線のための感度を持つ

## 放射性汚染物質



## 対象物

ミニバルーン、検出器



# フィルムを用いた測定方法

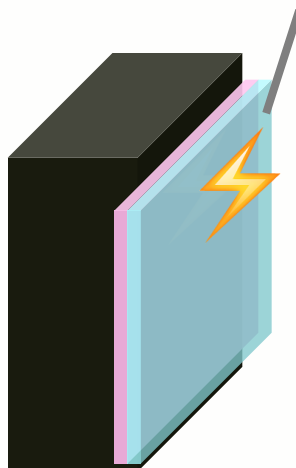
## ラミネートフィルム

シンチレーションフィルム

透明フィルム

片側(シンチレーションフィルム側)にのみ  
 $\alpha$ 線のための感度を持つ

放射性汚染物質



信号は見えない

対象物

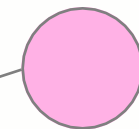
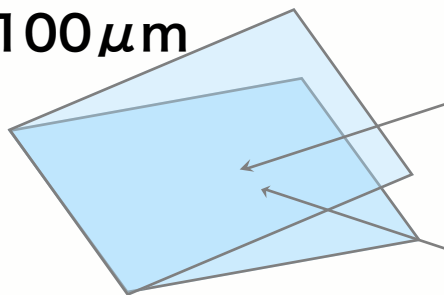
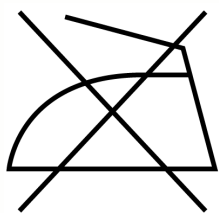
ミニバルーン、検出器

透明フィルムによって $\alpha$ 線を遮蔽

# 新ラミネート法

※以前は透明フィルムを重ねただけ

市販のラミネートシート  
100 $\mu$ m

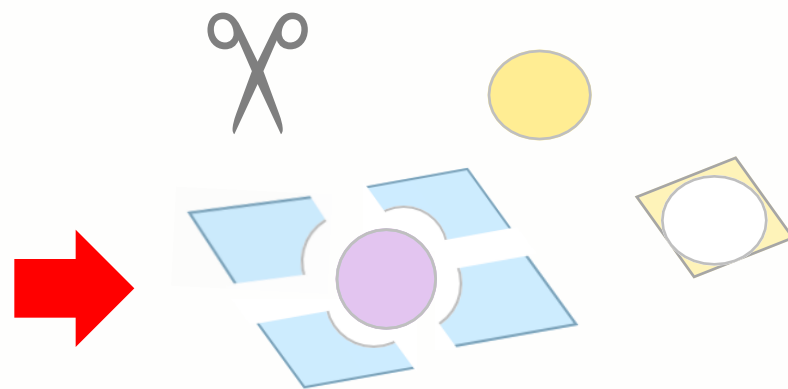
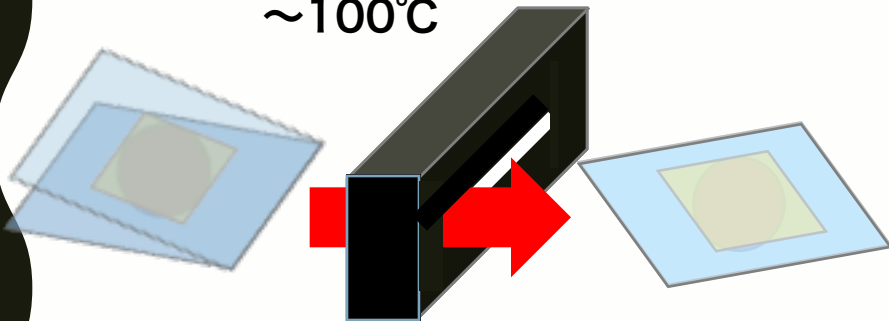


シンチレーションフィルム

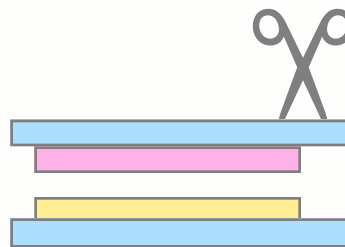
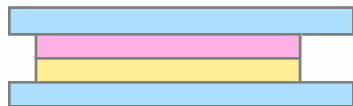


クッキングシート

ラミネーター  
~100 $^{\circ}$ C



横から見た図



# 新旧ラミネート法の比較

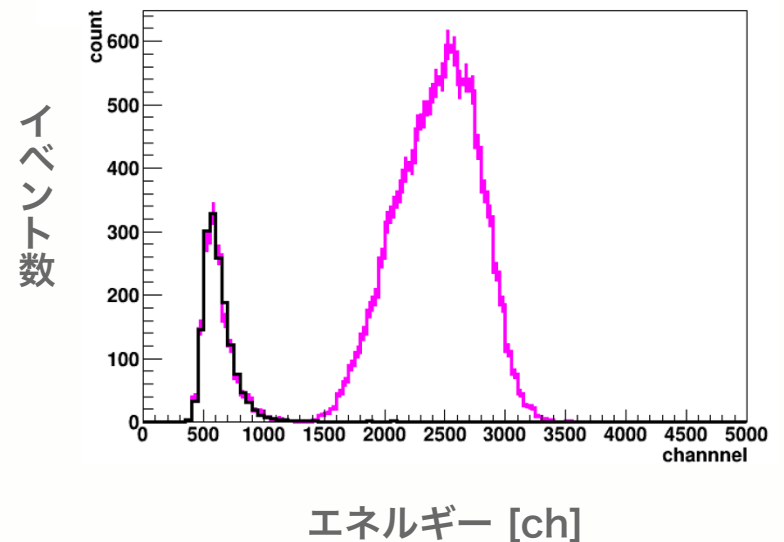
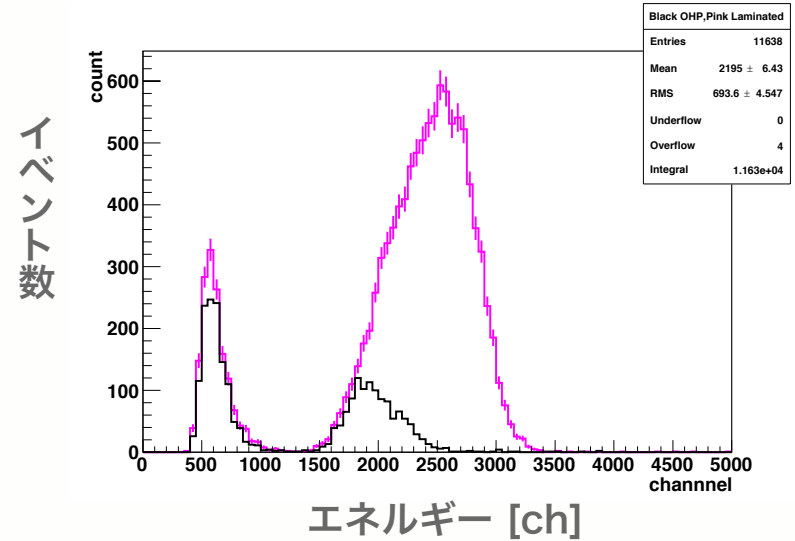
## エネルギースペクトル

- シンチレーションフィルムと透明フィルム(OHPシート)
- 新しいラミネートフィルム

- ✓ OHPシートの透明度が低い
- ✓ 密着させられなかったため減衰

ラミネータの使用を決定

## 片側感度の確認



# 洗浄



純水&マジックリン



回数	エネルギー スペクトル	イベント 比
0		1
1	ピーク位置が 右側に？	1 以上？
5	どこかで 頭打ちに？	1 以上？

## モチベーション

表面を洗浄することで...

- ✓ きれいになるのかどうか
- ✓ 使い回しが効くものなのか
- ✓ 表面の汚れをとれば  
シンチレーション光は増えるのか  
を確認すること

予想

# 洗浄



純水&マジックリン

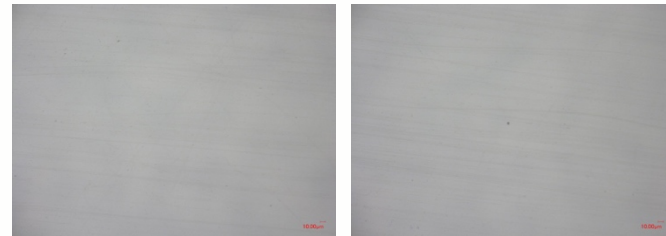


回数	エネルギー スペクトル	イベント 比
0		1
1		0.86
5		0.83

## 比較結果

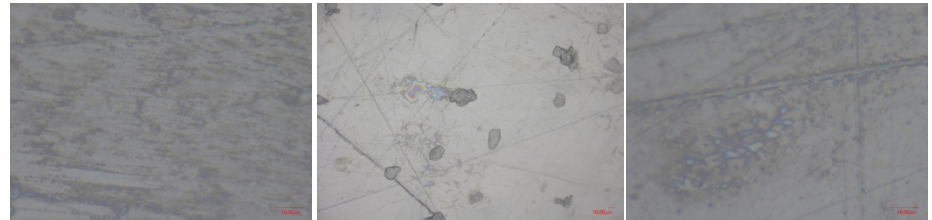
エネルギーピークは変わらず、イベント比はむしろ下がった。

### 洗浄前 (新品)



### 洗浄後 (5回)

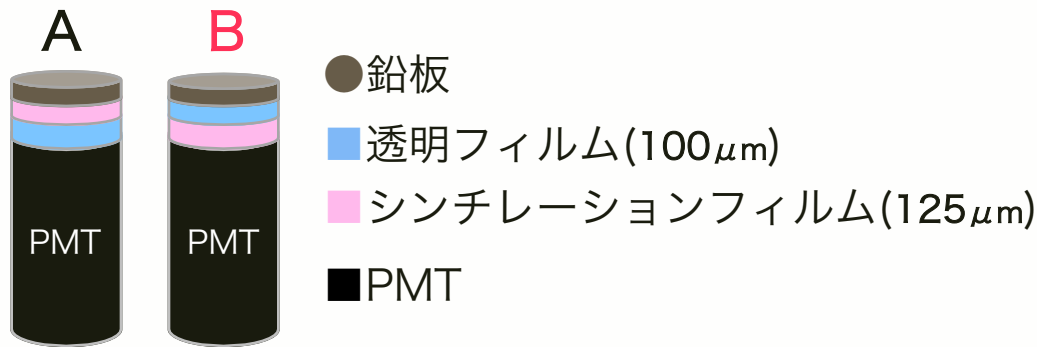
### 表面の傷



汚れを防ぐことも必要だが、傷ができやすくイベント量が減る  
→表面に触らず純水で濯ぐ程度

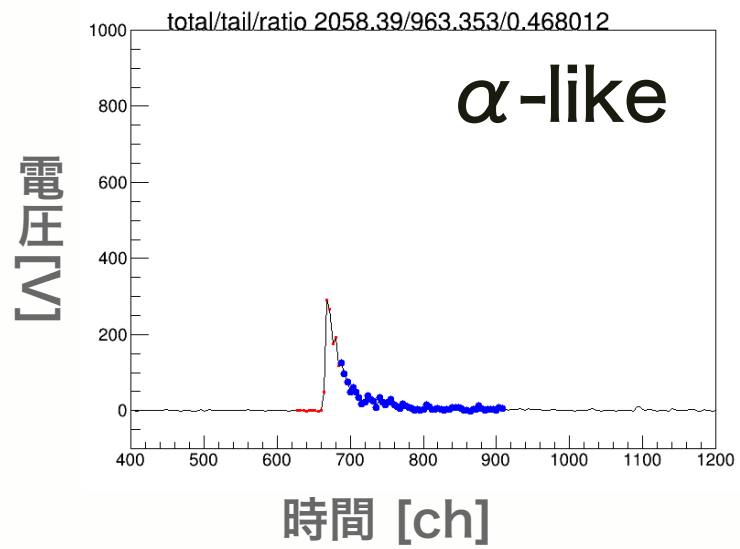
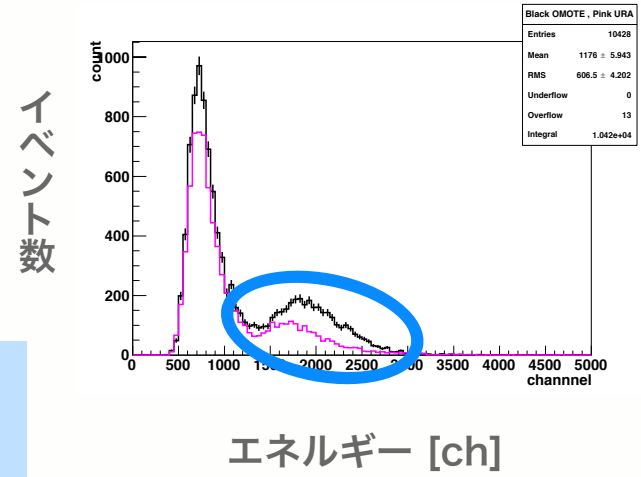
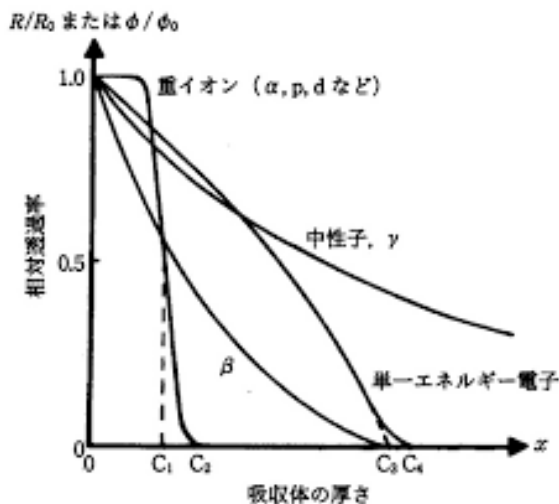
**フィルムは使い捨てを想定**

# 鉛板の表面を測定

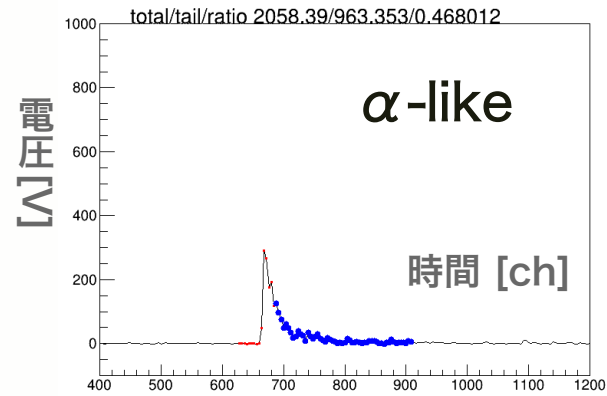
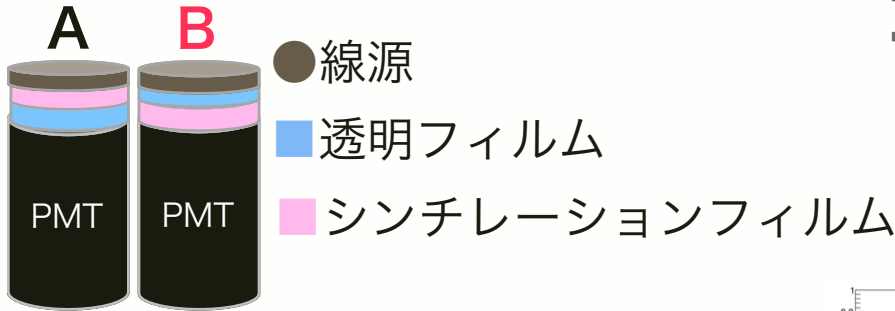


AとBに違いはあるものの  
 エネルギースペクトルでは判定しきれない

## ➡ 波形解析



# 波形解析



波形を積分

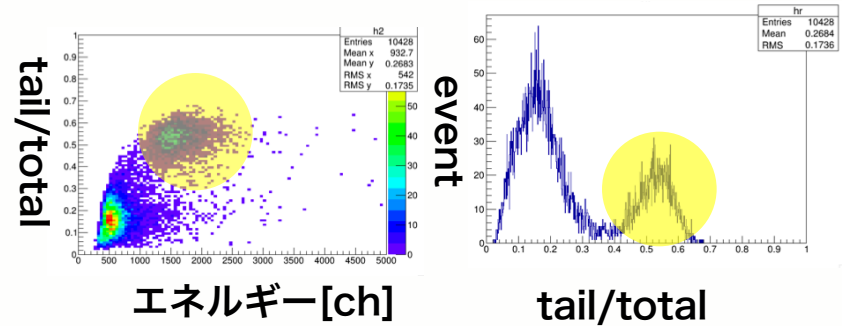
Total ● + ● & Tail ●  
それぞれの面積を計算

**$\alpha$ -like**

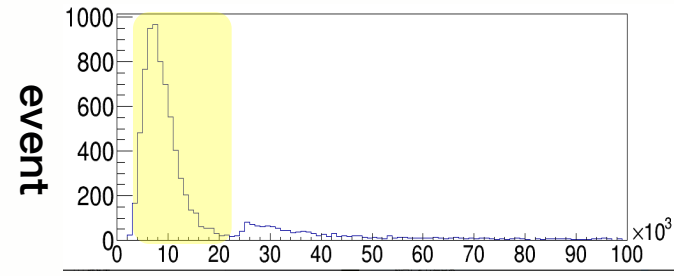
平均波形を作成

判定したい信号の  
波形と平均波形の  $\chi$  二乗

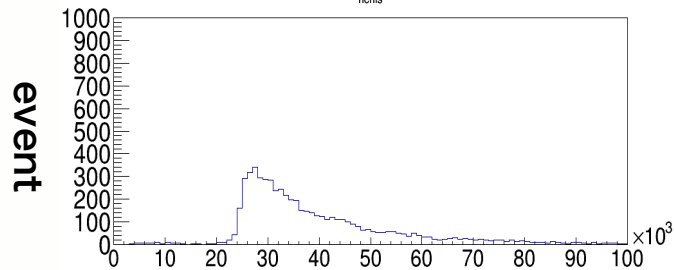
プロット



A



B



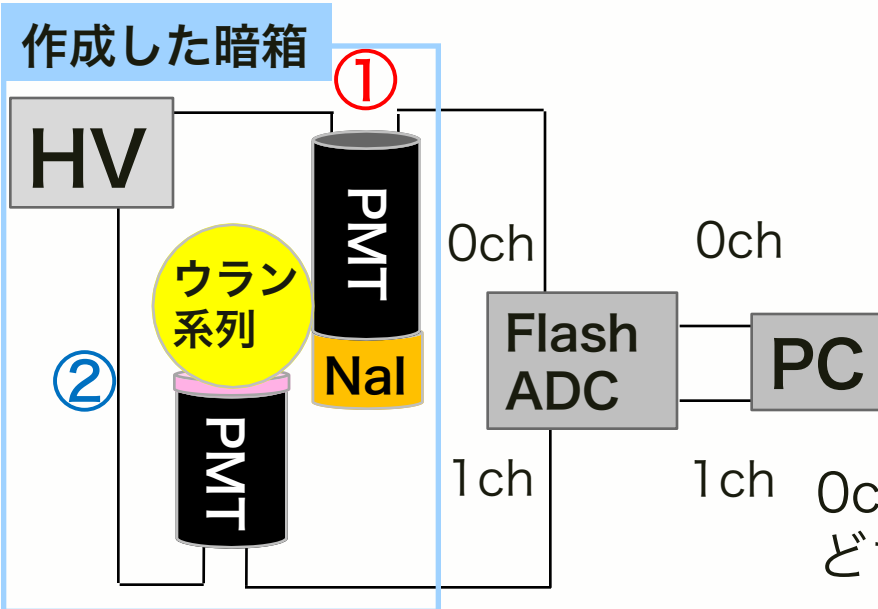
# Bi-Po遅延同時計測

## 原理

- ①先発信号 prompt... $^{214}\text{Bi}$
- ②後発信号 delayed... $^{214}\text{Po}$ の $\alpha$ 線

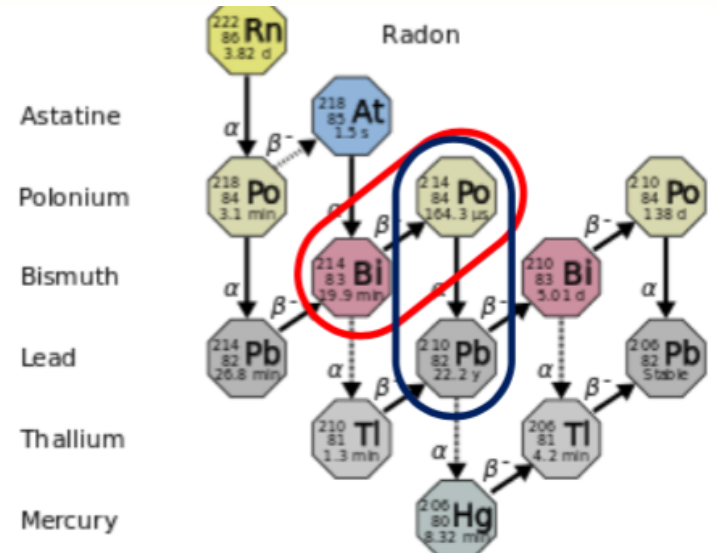
事象の特定ができる

## 回路



波形を積分して  
エネルギーに変換

0chか1chどちらかに信号がくると  
どちらのチャンネルもデータを取る





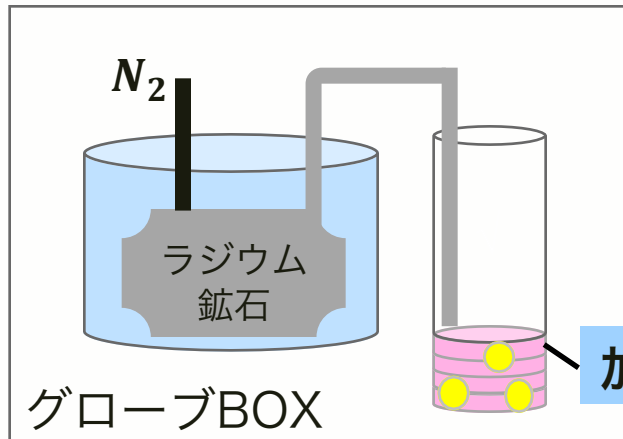
# Bi-Po遅延同時計測

## バブリング

ラジウム鉱石の入っている容器に窒素を封入し、 $^{222}\text{Rn}$ ガスを放出させる



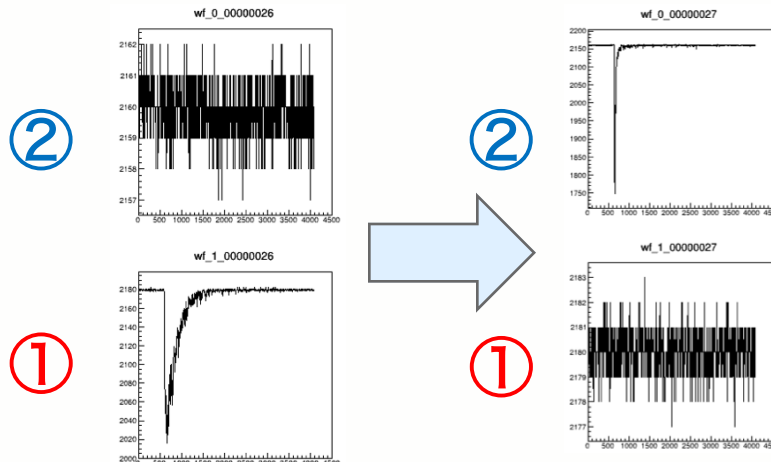
静電気



Po

フィルムをゴム手袋でこすることで帯電させ、Rnガスを吹きかける  
6枚重ね(125×6 $\mu\text{m}$ )

加工したバイアル



NaIの直後にシンチレーションフィルムが光る場合がBi-Poの候補となりうる

全体のイベントレートが下がるかを確認中

# まとめと今後の展望

## ✓ラミネート方法の確立

## ✓シンチレーションフィルムは使い捨て

現在、企業にサンプルを請求中

## ✓実際の表面汚染測定

アルファ線源では綺麗に判定できるが、

エネルギースペクトルでは不十分

平均波形と $\chi$ 二乗で判定

$\gamma$ 線や $\beta$ 線とフィルムとの反応を詳しく

## ✓Bi-Po遅延同時計測

現在計測中